

PAUL VAN DER VEEN

Hoeksnelheden en Radiantbepaling

ENGLISH SUMMARY

In this article it is suggested to see meteors more than a real process in the atmosphere. above us, rather than lines between stars. Assuming some simple but realistic values for heights of beginning and of ending of the meteors it is possible to create a reliable three-dimensional picture by estimating the angular velocity and descending speed. As it is almost impossible to take out exact estimates in degrees per second or kilometres per second, the theory makes use of the usual scale of indications. Observations like "fast" or "very slow" can be used as absolute values or as relative values which are corrected for the elevations of the meteors above the horizon. These indications are good enough to serve three purposes 1) The selection of stream members on their angular velocity. 2) The estimation of the position of the radiant of the meteor and 3) the estimation of the geocentric velocity.

It is proved that for one value of the angular velocity and one value for the descending speed only one solution for the radiant position is possible. That position of the radiant area may be found at once. It is also possible to take out the radiant classification at home after a night of observations. For this reason estimates for the angular velocity and descending speed should always be written down at the observational form, Estimates of length and duration could also be useful.

Omitting these radiant position and calling all meteors not related to a major shower "sporadic" means an enormous loss of useful data.

All values used in tables and calculations are given as examples. They are just an indication and are only given as an illustration of the theory.

INLEIDING

Wanneer we een meteor gezien hebben, dan kunnen we van die meteor een paar zaken vastleggen. Naast het tijdstip van de verschijning noteren we meestal de helderheid, de positie en de richting van de meteor, en als het even kan geven we ook een classificatie en/of een oorsprong. Soms kunnen we nog andere zaken vermelden als lengte, duur en snelheid. Deze drie hebben zeer veel met elkaar te maken, want de lengte of verplaatsing is gelijk aan het product van duur en snelheid. Dit geldt ook voor de bij de meteor waar te nemen hoek- of booglengte en hoeksnelheid. Vanwege het feit, dat waarnemers ook maar mensen zijn, zien zij lang niet alles. Zij missen daarom wel eens een meteor of, in een gunstiger geval, slechts een gedeelte van een meteor. In dit laatste geval kunnen zij een opgave doen van de lengte en de duur van het traject van de meteor, dat ze wél gezien hebben. Het is duidelijk, dat die opgaven van waarnemer tot waarnemer kunnen verschillen, zelfs als we afzien van schattingsfouten. De verhouding tussen lengte en duur zal echter niet van waarnemer tot waarnemer verschillen. Deze verhouding noemen we de "hoeksnelheid" en deze kunnen we naast de helderheid, de positie en de richting van de meteor tot de primaire grootheden rekenen.

Andere grootheden zoals lengte en duur zijn niet alleen afhankelijk van de meteor zelf en de afstand van de meteor tot de waarnemer, maar ook afhankelijk van de perceptie van de waarnemer en zelfs ook nog afhankelijk van de grensmagnitude.

De positie van het helderste punt van een meteorspoor is iets, dat niet afhankelijk is van de waarnemer en de grensmagnitude en nauwelijks afhankelijk is van de afstand tussen meteor en waarnemer.

Grootheden die betrekking hebben op dit deel van het traject hebben dan ook de voorkeur.

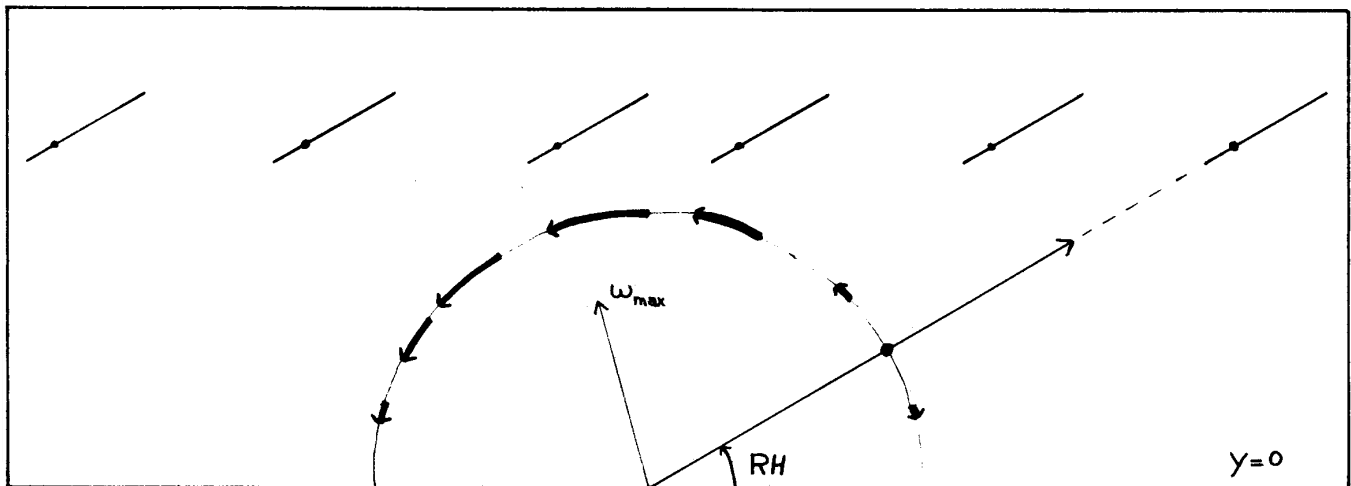


Figure 1: *Meteors can be seen anywhere in the sky. Their length and angular velocity depend on the distance along the sky from the meteor to the radiant and from the meteor to the zenith.*

Samengevat geldt voor het meteorspoor:

Beginpunt : sterk afhankelijk van waarnemer, grensmagnitude en afstand.

Helderste punt: nauwelijks of niet afhankelijk van afstand en grensmagnitude.

Eindpunt : Afhankelijk van afstand en nauwelijks van waarnemer en grensmagnitude.

Bij het classificeren van meteoren, is de richting van het meteorspoor langs de hemel het belangrijkste gegeven. De radiant van de meteor ligt immers in ieder geval op het verlengde van het waargenomen spoor. Maar hoe ver er naar achteren verlengd moet worden om het werkelijke punt te vinden is een moeilijk zo niet onmogelijk te bepalen zaak. Zoals er in fig. 1 te zien is, is er een verband tussen de lengte van het spoor en de boogafstand tot de radiant van de meteor. De lengte van het spoor kan dus een hulpmiddel zijn bij het vinden van de radiant afstand. Het hanteren van vuistregels als het minimaal zoveel en vooral het maximaal zoveel keer achterwaarts verlengen is echter, gezien de mogelijke verschillen in een waarneming van lengte, discutabel. Ervaren waarnemers kunnen aan de hand van het helderheidsverloop van een meteor redelijk goed zien of zo een groot of een klein gedeelte van het spoor gezien hebben. Via extrapolatie kunnen zij dan een schatting maken voor lengte en duur van een meteor als deze beter gezien zou zijn geweest, en zo tot een schatting van de oorsprong komen. De hoeksnelheid van een meteor, die onafhankelijk van waarnemer en grensmagnitude is, blijkt in dergelijke situaties een zeer goed hulpmiddel te zijn. Zeker in gevallen waar men wel van de hoeksnelheid met enige zekerheid iets kan zeggen, maar van de richting van de meteor bijna niets, zal men vooral uit deze hoeksnelheid de noodzakelijke informatie moeten kunnen halen voor de uiteindelijke classificatie.

VOORBEELDEN

Om de bedoeling van dit artikel iets te verduidelijken, heb ik enkele typische situaties uit mijn herinneringen gehaald, die iedereen, die in Augustus wel eens buiten heeft gelegen, zal herkennen.

- 1) Snelle Perseïden in de Zwaan rond het zenit.
- 2) Trage Perseïden nabij Cassiopea (de mooisten)
- 3) Zeer trage Perseïde bij Capella (gigaflits net naast je linkervoet)
- 4) Zeer trage κ Cygnide in het zenit.
- 5) Een κ Cygnide onder in Aquarius (ik dacht dat ik wat zag)
- 6) Een bijna-puntvuurbol op dezelfde plaats (Was dit een Schipholide of toch een Aquaride ?)
- 7) Een heldere Aquaride de andere kant op door het zenit.

Het zijn extreme situaties, maar ze komen voor. In ieder geval komen vooral bij de nummers 3, 5 en 6 grote problemen voor bij het classificeren. De flits van situatie 3 is zo kort, dat er nauwelijks een richting aan gegeven kan worden. Door de grote DCV is het zwakkere deel van het spoor de waarnemer geheel ontgaan. Situatie 5 onderscheidt zich van 3 alleen maar in de vorm van het helderheidsverloop van de meteor. Ziet men bij 3 een flits van een fractie van een seconde, bij 5 kan de flits wel twee seconden aanhouden. De flits kan zelfs zo lang duren of zo langzaam in helderheid toenemen, dat de meteor niet eens door een waarnemer wordt opgemerkt. Een zelfde criterium kan gebruikt worden bij een bijna onmogelijk onderscheid tussen de situaties 5 en 6, maar de verschillen zijn kleiner. Zoals verderop in dit artikel zal blijken, kan men in dergelijke gevallen goed gebruik maken van de hoeksnelheden van beide meteoren. In dit speciale geval blijkt de doorgaans veel tragere κ Cygnide nu meer dan drie maal zo snel als een Aquaride op dezelfde plaats.

GROTE VARIATIE MOGELIJK

De hoeksnelheid van een meteor kan in vele gevallen een goed hulpmiddel zijn bij de classificatie van een meteor, maar het heeft als nadeel, dat er moeilijk een getal aan toe te kennen is. Bij helderheidsschattingen van meteoren kan men de helderheid vergelijken met bekende helderheden van sterren. Voor de hoeksnelheid is er geen referentieschaal. Men kan hoeksnelheden van meteoren vergelijken met hoeksnelheden van bekende zwermen. Echter, binnen zo'n referentiezwerf blijken grote verschillen in hoeksnelheid mogelijk, zodat het hier naar verwijzen onzinnig lijkt.

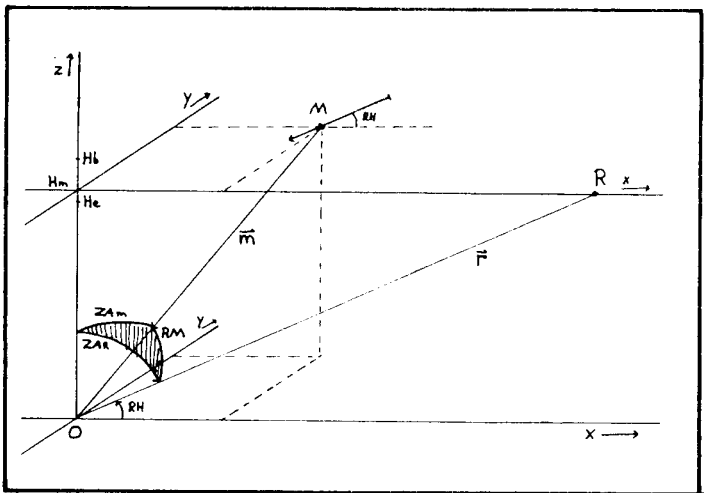


Figure 2 : View of the geometrical situation around the meteor M in the atmosphere and the observer O on earth. The angle RH is the elevation of the radiant above the horizon, ZAM is the angular distance from the zenith to the meteor and RH is the angular distance from the radiant to the meteor. The height H_b , H_m and H_e are the heights for the beginning, the moment of maximum brightness and ending of the meteor.

De hoeksnelheid van een meteor is naast de eigen, werkelijke snelheid (in km/s) sterk afhankelijk van de hoek, waaronder een waarnemer de meteor ziet (gaat de meteor geometrisch gezien op de waarnemer af, of ziet de waarnemer de meteor voor een groot gedeelte van opzij) en van de werkelijke afstand tussen de waarnemer en de meteor (in km.) De hoek waaronder een waarnemer een meteor ziet is gelijk aan de boogafstand tussen de meteor en zijn radiant. De werkelijke afstand van waarnemer tot meteor is via een eenvoudige berekening te halen uit zijn zenitsafstand (vgl. 1).

Voor de hoeksnelheid vinden we zo vergelijking (2a). Hierin is H de voor een meteor karakteristieke hoogte van maximale helderheid (ca. 100 km). 'M' staat voor meteor, 'R' voor Radiant en 'Z' voor Zenit.

$$\text{Afstand} = \text{Hoogte} / \cos(\angle[\text{zenit}, \text{meteor}]) \quad (1)$$

$$\omega = 180/\pi \cdot V/H \cdot \sin(\angle [R,M]) \cdot \cos(\angle [Z,M]) \quad (2a)$$

$$\sin(\angle [R,M]) = \pi/180 \cdot H/V \cdot \omega/\cos(\angle [Z,M]) \quad (2b)$$

$$V = \pi/180 \cdot H/\sin(\angle [R,M]) \cdot \omega/\cos(\angle [Z,M]) \quad (2c)$$

Gaan we aan de hand van vergelijking (2a) de zeven situaties nog eens bekijken, dan kunnen we getallen aan de situaties toekennen. Zie tabel 1.

We zien in tabel 1 nu ook wat duidelijker, wat er bedoeld werd toen er uitleg gegeven werd bij het verschil tussen de situaties 3 en 5. De Perseïdenflits duurde bv. maar 0.25 seconden, zodat zijn lengte maar een graad lang leek (Vergelijkbaar met zijn 'breedte'). De κ Cygnide duurde twee seconden en legde in die tijd wel vier graden af. De Aquaride van 6 duurde snaar een seconde en verplaatste zich maar 0.6 graden. Wat verder in tabel 1 opvalt zijn de relatief hoge hoeksnelheid van de Aquaride in het zenit en de grote verschillen in hoeksnelheid binnen een zwerm.

Vb	Zwerm	V ω	ZA meteor	Rad. Afstand	Hoeksnelheid
1	Perseïde	60	0	60	36
2	Perseïde	60	45	15	6
3	Perseïde	60	80	40	4
4	κ -Cygnide	23	0	20	4
5	κ -Cygnide	23	80	60	2
6	Aquaride	35	80	10	0,6
7	Aquaride	35	0	7	19

Tabel 1 : Zeven voorbeeldsituaties.

ERVARINGEN VAN DE WAARNEMERS

Er zijn nog hele volkstammen, die altijd nog zodanige meubelen het veld in dragen, dat zij zichzelf dwingen naar een gebied van de hemel te kijken, dat maar 45 graden boven de horizon uitsteken. De snelste Perseïde (op een radiant afstand van 90 graden) die zij ooit gezien hebben, zal een hoeksnelheid hebben gehad van zo'n 24 graden per seconde. Zij zullen dit "snel" vinden, want zij horen Perseïden snel te vinden. Een Leonide van maximaal 29 graden per seconde op die plaats noemen zij "zeer snel". Snellere meteoren zullen zij op die plaats nooit tegen komen. Kijken zij in een gebied met een straal van 45 graden, dan kunnen zij Leoniden zien met snelheden 0 (horizon) en 41 graden per seconde (zenit). Een zenit waarnemer ziet in een even groot gebied Leoniden tussen de 29 en 41 graden per seconde. Zenit waarnemers zullen ook van de Leoniden zeggen, dat ze "zeer snel" zijn. Zelfs als men gewend zou zijn, om altijd recht naar de radiant van een zwerm te kijken, dan houdt men dezelfde indrukken van een zwerm over. Kortom, het maakt meestal niet zoveel uit waar je gekeken hebt, voor wat je als algemene indruk van een zwerm overhoudt, hoewel absoluut gezien men aan geheel andere hoeksnelheden kan denken.

Maar ook in het zenit zal de hoeksnelheid van een zwerm lid niet altijd hetzelfde zijn. Dit heeft te maken met het feit dat de radiant hoogte gedurende de nacht varieert en daarmee de afstand van de in het zenit

waargenomen meteoren tot hun radiant. Tabel 2 laat zien, hoeveel de hoeksnelheden binnen een nacht voor de verschillende zwermen kunnen variëren. De radianthoogten bereiken hun extreme waarde bij het begin of einde van de burgerlijke schemering of bij een tussentijdse onder- of bovensculminatie. Achter de radianthoogten staan de hoeksnelheid in het zenit, de maximale hoeksnelheid (zie fig. 1) en de daalsnelheid. Voor het gemak zijn de hoogten voor al de verschillende zwermen op 100 kilometer gesteld. In werkelijkheid bereiken de verschillende soorten hun maximale helderheid op verschillende hoogten. Ook voor verschillende magnituden gelden verschillende hoogten en dus kleine verschillen in hoeksnelheid. De Bo8tiden verschillen in het zenit het meest; de Aquariden het minst in hoeksnelheid.

ABSOLUTE EN RELATIEVE SCHAALVERDELINGEN

Zouden we nu een absolute schaalverdeling willen maken en de snelste categorie ($> 32^\circ/\text{sec}$) "zeer snel" noemen, dan zouden we met een lineaire vijfdelige schaal (zie tabel 3a) nog niet altijd goed kunnen werken. Want juist bij de moeilijkste situaties zouden alle meteoren in de langzaamste klasse vallen, en is er nog geen onderscheid te maken. Vooral naar onder zou de schaal uitgebreid moeten worden want men ziet veel gemakkelijker een verschil in hoeksnelheid van vijf of tien graden per seconde, dan van 35 of 40 graden per seconde (Zie tabel 3b). Bovendien blijkt in de praktijk, dat net nadat je een meteor "zeer traag" hebt genoemd, er opeens een nog veel tragere langs komt.

Zwerm	V Υ	RH-	wzenit	wmax	Vd	RH+	wzenit	wmax	Vd
BOO	43	24	23	24	18	80	4	15	42
LYR	49	10	28	28	9	72	9	18	47
AQR	35	0	20	20		26	18	19	15
PER	60	24	31	33	24	74	10	22	58
κ CYG	23	37	11	12	14	75	3	8	22
DRA	20	16	11	11		75	3	7	19
ORI	68	0	39	39	6	553	23	31	54
TAU	30	0	17	17		52	11	14	24
LEO	72	0	41	41		60	21	31	62
GEM	36	0	21	21		70	7	14	34
URS	35	38	16	18	22	66	8	14	32

Table 2 : The angular velocity varies among streams because of their different geocentric velocities. Within a stream, variations may be possible during the night as well. Maximum and minimum values are given for zenith position end all over the sky. The extreme values are caused by extreme values of the radiant position (rising - -setting or culmination or beginning - ending of civil twilight).

	a	b
Zeer snel	36	≥ 30
Snel	28	20 - 30
Medium	20	15 - 20
Traag	12	10 - 15
Zeer traag	4	5 - 10
Zeer, zeer traag		3 - 5
Enz.		enz.

Table 3 : Linear and non linear scale for the absolute values of the angular velocity in deg. per second.

Het in extreme gevallen schatten van de hoeksnelheid in graden per seconde is zelfs voor ervaren waarnemers een bijna onmogelijke opgave. De benodigde lengte en duur zijn zelden allebei nauwkeurig te bepalen. Alleen bij meteoren die lange sporen trekken en lang zichtbaar blijven zijn de schattingen wel nauwkeurig te maken. Ik raad ieder dan ook aan, om waar mogelijk de lengte en duur respectievelijk in graden en seconden op te geven. Na afloop van de waarnemingen kan dan een nauwkeurige absolute waarde voor de hoeksnelheid berekend worden.

In het algemeen heerst er binnen een groep ervaren waarnemers grote eenstemmigheid over de waargenomen hoeksnelheidsindruk. Vinden zij allen een meteor "snel", dan bedoelen zij eigenlijk te zeggen, dat van alle meteoren die deze groep oude wijze mannen ooit in dit gebied van de hemel zag, deze toch wel een van de snellere was. Men houdt terecht, bewust of onbewust, rekening met de hoogte van het gebied, waar men de meteor zag. Immers, bij grotere zenitsafstanden nemen de hoeksnelheden af en zullen ook de relatieve indrukken als "snel" en "traag" aangepast zijn aan de bijbehorende zenitsafstanden. De absolute waarden van deze relatieve indrukken variëren dan ook met de cosinus van de zenitsafstand. Dit betekent, dat als je een meteor door het zenit ziet gaan met een snelheid van 40 graden per seconde, je deze meteor zeer snel zult noemen, net zoals je een zelfde soort meteor op 30 graden hoogte "zeer snel" zult noemen, omdat je ook daar nog nooit snellere meteoren gezien hebt, ook al gaat deze daar slechts met een snelheid van 20 graden per seconde langs de hemel. Vermenigvuldigt men achteraf de waarde die bij zo'n relatieve snelheidsindicatie hoort met de cosinus van de zenitsafstand (of de sinus van de hoogte, dan vindt men de daarbij behorende absolute waarde van de hoeksnelheid (tabel 4).

Zien we bv. een aantal meteoren allemaal op dezelfde afstand van de radiant, maar wel allemaal in een andere richting vliegend, dan zullen zij allemaal dezelfde indicatie krijgen, ook al zijn er absolute verschillen te zien. Dit was ook wat we voor ogen hadden: De hoeksnelheid moest een hulpmiddel worden om een schatting te maken voor de radiant afstand, en zo min mogelijk van andere zaken afhankelijk zijn.

Omdat je gedurende de hele nacht op alle zenitsafstanden meteoren ziet, zal je wel snel door hebben, wat voor een bepaalde zenitsafstand een maximale waarde zal zijn. Noemen we dit "zeer snel" en de gemiddelde hoeksnelheid voor zo'n zenitsafstand "medium", dan ligt de schaal redelijk vast.

Men kan ook een relatieve schaal maken op basis van de radiant afstand. Ziet men een Perseïde dicht bij zijn radiant, dan kan men hem toch snel noemen, omdat hij in vergelijking met meteoren van een andere zwerm, zo dicht bij hun radiant, sneller was. Bij zo'n gebruik moet men de radiantpositie kennen en wordt de snelheidsindicatie, samen met de zenitsafstand, een maat voor de werkelijke snelheid van de meteor. Deze snelheid kunnen we vergelijken met de snelheid, die we van de zwerm verwachten, en controleren of de meteor inderdaad tot die zwerm behoort.

<i>Hoeksnelheids Indicatie</i>	<i>Zenitsafstand van de meteor</i>				
	<i>0°</i>	<i>30°</i>	<i>45°</i>	<i>60°</i>	<i>75°</i>
Ze er snel	> 30	> 26	> 21	> 15	> 8
S n	20 – 30	17 – 26	14 – 21	10 – 15	5 – 8
M edium	15 – 20	13 – 17	11 – 14	8 – 10	4 – 5
T raag	10 – 15	9 – 13	7 – 11	5 – 8	3 – 4
Z eer traag	5 – 10	4 – 9	4 – 7	3 – 5	1 – 3
Z eer, zeer traag	2 – 5	2 – 4	1 – 4	1 – 3	0 – 1

Tabel 4 : *Verband tussen absolute en relatieve hoeksnelheden.*

Table 4_: *The values in the non-linear scale of table 3b can be adjusted to the zenith distance of the meteor. For different heights of meteors indications like 'slow' or 'very fast' will result in a different absolute value.*

HET GEBRUIK VAN HOEKSNELHEDEN BIJ RADIANTBEPALINGEN

We weten nu met een groot deel van de verschillen in hoeksnelheden om te gaan en hebben net al het eerste gebruik ervan gezien. Bij gebruik van de relatieve schaal van indicaties van de tabellen 3b en 4 blijven er twee oorzaken voor verschillen in hoeksnelheid over. De eerste oorzaak is het verschil in afstanden tussen (het helderste punt van) de meteor en de radiant. De tweede oorzaak is te vinden bij verschillen in eigen werkelijke snelheden. We kunnen nu een schatting van de hoeksnelheid van een meteor op drie verschillende manieren gebruiken:

- 1) Als selectie criterium voor het al dan niet bij een bepaalde zwerm behoren van een meteor, en zo nauwkeurigere ZHR gegevens krijgen.
- 2) Voor het schatten van de positie van de radiant van de meteor en
- 3) Voor het schatten van de eigen werkelijke snelheid van de meteor.

Zijn bijvoorbeeld de radiantpositie en de eigen snelheid van een zwerm bekend, dan kan men aan de hoeksnelheid van een meteor zien, of deze bij de zwerm hoort. Ziet men bij voorbeeld aan het eind van een Perseïdennacht een snelle meteor ($\omega = 25$ °/sec), schijnbaar komend vanuit de Perseïdenradiant door het zenit gaan, dan moet men concluderen, dat het geen Perseïde geweest kan zijn, omdat deze hier slechts met een snelheid van 10°/sec kunnen bewegen (traag tot zeer traag). De meteor heeft waarschijnlijk zijn radiant ergens in de Stier gehad, zo'n 50 graden uit het zenit (zie vgl. 2b of tabel 5). Of omgekeerd: ziet men in het Zuiden op een afstand van 90 graden van Perseus een trage meteor, dan kan het geen Perseïde zijn, ook al gaat het verlengde van het spoor precies door de radiant.

Vergelijking (2b) is om te schrijven tot vergelijking (2b*) omdat de absolute hoeksnelheid ω gedeeld door $\cos[\angle (Z,M)]$ gelijk is aan de hoeksnelheidsindicatie ω . Bij een bepaalde werkelijke snelheid en een bepaalde indicatie hoort dus direct een radiantafstand RM (Zie tabel 5).

$$\sin[\angle (R,M)] = \pi/180 * H/V * \omega \quad (2b^*)$$

Indicatie	Eigen werkelijke snelheid						
	70 km/s	60 km/s	50 km/s	40 km/s	30 km/s	20 km/s	10 km/s
ZS	61						
S	39	47	61				
M	26	31	38	50			
T	18	21	26	33	47		
ZT	11	13	15	19	26	41	
ZZT	6	7	8	10	13	20	44

Tabel 5 : Hoeksnelheidsindicaties en radiant afstanden

Table 5 : With an indication for the angular velocity for different geocentric velocities a direct Estimation for the distance to the radiant can be made. Using the relative scale of table 4, the estimates for the radiant distances are independent of the meteor height. (Eq. 2b*)

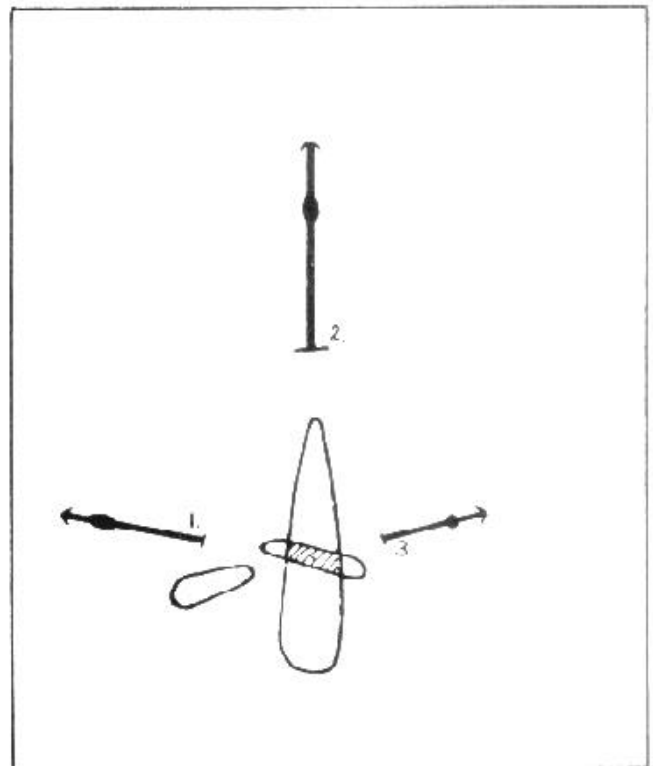
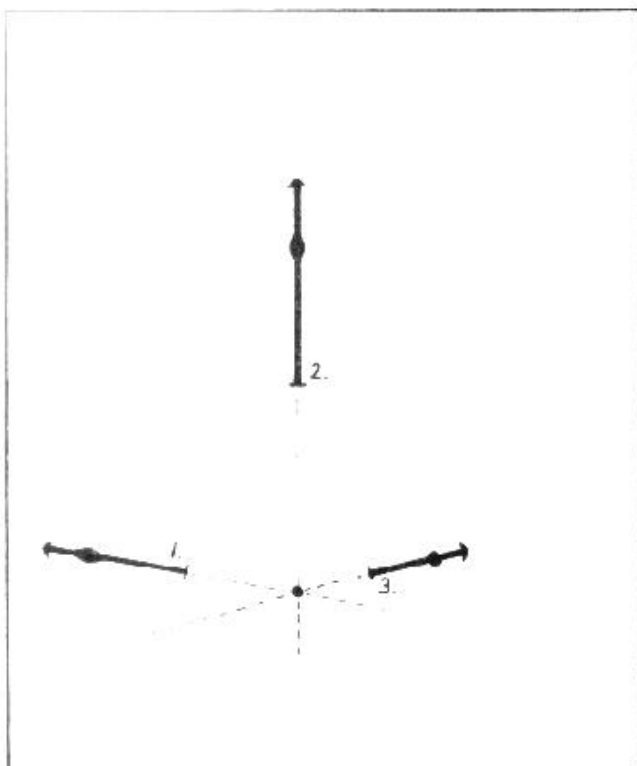
Fig. 3 laat een ander voorbeeld zien. Er zijn drie meteoren ingerekend, die elkaar precies in één punt snijden. Men heeft indicaties van hoeksnelheden opgegeven. Meteor 1 wordt "traag" genoemd en de meteoren 2 en 3 "medium". De zenitsafstanden van de meteoren zijn resp. 45, 0 en 45 graden. Uit tabel 4 halen we de daarbij behorende absolute hoeksnelheden : Resp. 9, 18 en 13 graden per sec. Meten we de afstand van het helderste punt van de meteor tot het snijpunt, dan vinden we resp. 30, 50 en 20 graden. Via ver-

gelijking (2c) kunnen we nu de werkelijke snelheid van de meteor berekenen. We vinden dan resp. 44, 41 en 94 km/s. Het is duidelijk, dat de meteoren 1 en 2 tot eenzelfde zwerm kunnen behoren en nummer 3 in ieder geval niet bij de eventuele radiant van 1 en 2 kan horen. Uit vergelijking (2b) of tabel 5 volgt dat de minimale radiant afstand voor meteor 3 zo'n 26 graden moet zijn ($V=72$ km/s) en dat de werkelijke snelheid van de meteor (vgl. 2c) niet onder de 32 km/s ($\sin \angle (R,M) = 1$) kan liggen. In dit geval gingen al de drie meteoren door één punt, maar als dit niet zo was geweest, dan zou bij het abusievelijk meetellen van meteor 3 een verschuiving van de radiantpositie zijn opgetreden.

FOUTEN IN SCHATTINGEN VAN DE HOEKSNELHEID

De berekeningen die net beschreven zijn, suggereren een hoge nauwkeurigheid. Het lijkt net, alsof met een paar indicaties voor de hoeksnelheden, een nauwkeurige waarde (ca. 43 km/s) voor de snelheid van de zwerm gevonden kan worden. Dit is natuurlijk niet zo. Houdt men rekening met een schattingsfout van een schaaldeel, dan vindt men een redelijke foutenmarge rond de voor de meteoren gevonden snelheden en radiant afstanden. Denkt men, dat de waarnemer een fout gemaakt heeft bij zijn schatting van een hoeksnelheid en dat meteor 3 waarschijnlijk "traag" geweest zal zijn, zelfs dan vinden we met $\omega = 9^\circ/\text{sec}$ nog een snelheid van 65 km/s. Vermoedt men nu ook nog, dat er een intekenfout van tien graden gemaakt zal zijn, pas dan vindt men een waarde voor de snelheid, die overeenkomt met de snelheden van de twee andere meteoren.

Met $\omega = 9$, $RM=30$, $ZAM=40$ vinden we $V=41$ km/s. Maar zoals het altijd is, bij het gebruik van foutenmarges, is, dat hoe onwaarschijnlijker het is dat er dergelijke fouten gemaakt zijn, hoe waarschijnlijker het wordt, dat er echt sprake is van een werkelijk andere situatie (dus een andere meteorsoort)



Figuur 3 : (links) Drie meteor intekeningen. Naast de gebruikelijke posities van begin- en eindpunt van de meteor, is ook de positie van het punt van maximale helderheid ingerekend. Dit punt kan scherp begrensd zijn, maar zich ook over een wat grotere lengte uitspreiden. Het is zo mogelijk, een maat voor de daalsnelheid aan te geven. Probeer altijd zo zorgvuldig mogelijk de posities van de maximale helderheid en het eindpunt in te tekenen. In de eerste plaats zijn deze punten vaak beter te zien dan het beginpunt en in de tweede plaats zijn deze punten minder afhankelijk van de waarnemer. Bij een volledige intekening horen elders aantekeningen gemaakt te worden over het tijdstip van verschijnen, de magnitude en de vanaf nu nooit meer te vergeten hoeksnelheid.

Figure 3 : (left) Three meteors are plotted on a map. The positions of beginning, maximum brightness and ending are given as usual. An indication for the speed of descending is also given. A plotted meteor trail is only complete if time of appearance, magnitude and angular velocity are mentioned.

Figure 4 : (rechts) Als figuur 3. Nu is er direct bij de intekening van de meteoren een schatting voor het oorspronggebied gegeven. Op grond van de interpretaties van geschatte helderheid, hoek- en daalsnelheid kan meteen al gezegd worden dat meteor 3 niet bij de eventuele radiant van de meteoren 1 en 2 kan horen.

Figure 4 : (right) The same as fig. 3. The observer has also indicated the position of the radiant for every meteor which he has calculated from the estimated values of magnitude, velocity and speed of descending. If those indications were not given, no distinction could be made between the meteors 1 and 2, which may belong to the same stream, and meteor 3 which definitely does not. The sizes of the areas have their origin in uncertainties in directions and estimates. Because of the higher speed of descending for meteor 3, the area belonging to that meteor is small (see table 5.)

HET GEBRUIK VAN DE LENGTE VAN METEOREN

Tot nu toe hebben we bij het bepalen van radiantposities alleen maar gekeken naar de richting van een meteor en zijn hoeksnelheid. Over de lengte van het spoor is in het geheel niet gesproken. Toch heeft de lengte van het spoor wel enige waarde. Immers, zonder lengte kan er geen sprake zijn van een hoeksnelheid. We kunnen de lengte eigenlijk alleen samen met het helderheidsverloop als extra hulpmiddel gebruiken bij onze interpretaties van de meteorverschijning. Het enige dat echt zeker te bepalen is aan de hand van het gehele traject, is dat de radiant altijd vóór het punt ligt, waar we de meteor hebben zien beginnen. Soms kun je op grond van het helderheidsverloop het vermoeden hebben, dat je slechts een klein gedeelte van het spoor gezien hebt. Hieruit valt dan een betere lengte waarneming op te maken en hieruit is weer een minimale radiant afstand te verwachten. In het intermezzo wordt wat verteld over het verloop van de helderheid van een meteor als functie van de door hem bereikte hoogte. Hier worden alleen de vergelijkingen (3) genoemd voor de lengte van een meteor, die zijn maximale helderheid bereikt op een zenitsafstand ZAM en waarvan (het verlengde van) het spoor door het zenit gaat. Deze vergelijkingen voor de eenvoudige situatie, die ook te zien is in fig. 1, zijn via een heleboel rekenwerk uit te breiden voor over het gehele hemelgebied. De lengte is dan uit te drukken als een functie van de boogafstanden van meteor tot radiant en meteor tot zenit, de radianthoogte RH, en de werkelijke hoogten van begin- en eindpunt en de hoogte bij maximale helderheid, resp. Hb, He en Hm. Dat ook zo'n vergelijking maar een benadering zal blijken te zijn, hangt samen met het feit, dat de begin- en eindhoogten niet alleen afhankelijk zijn van de meteor, maar ook nog afhankelijk zijn van de afstand van de waarnemer tot de meteor. Een ver verwijderde vuurbol zullen we op een veel lagere hoogte zien beginnen en op een iets grotere hoogte zien eindigen.

$$\text{Afstand (radiant,X)} = R(X) = 90^\circ - Z_A(X) - R_A \quad (3a)$$

$$\tan Z_A(X) = \frac{H(X) - H_M * (1 - \tan Z_{AM} * \tan RH)}{H(X) * \tan RH} \quad (3b)$$

$$\text{Lengte} = R(\text{Eind}) - R(\text{Begin}) \quad (3c)$$

$$\text{Achterwaartse verlenging} = R(\text{Begin}) / \text{Lengte} \quad (3d)$$

ZAM en Z_A(X) worden positief gekozen van zenit naar radiant; R_M positief van radiant naar zenit. Het belangrijkste om te weten is, dat een heldere meteor hoger begint dan een zwakke, qua duur langer zichtbaar zal zijn en dus een langer spoor zal trekken, en dat zo'n heldere meteor ook dicht bij zijn radiant zal worden opgemerkt. Nemen we als voorbeeld twee precies even lange en even snelle meteoren in het zenit, maar van ongelijke magnitude, dan kunnen we de volgende verwachtingen uitspreken: de radiant van de helderste zal zich dicht bij het zenit bevinden dan die van de zwakke, en de heldere heeft een grotere eigen snelheid dan de zwakke.

<i>Radiant hoogte boven de horizon</i>						
<i>Magnitude</i>	<i>H begin</i>	<i>15°</i>	<i>30°</i>	<i>45°</i>	<i>60°</i>	<i>75°</i>
+4	110	30	14	8	5	2
+2	120	43	21	13	7	3
0	130	52	27	16	9	4
-2	140	58	32	19	11	5
-4	150	62	35	21	13	6

Tabel 6 : *Lengte van meteoren in het zenit in graden.*

Table 6 : *Using a simplified model for the meteor heights : He =95 km, Hm =100 km and Hb=130-5*magn. The lengths of meteors in zenith are calculated as a function of the height of the radiant.*

Tabel 6 geeft de lengte voor meteoren in het zenit voor verschillende magnitude als functie van de radiant-hoogte. Voor het gemak zijn er enkele vereenvoudigingen gedaan. Zo zijn de hoogten van het eind en het punt maximale helderheid onafhankelijk van magnitude en radianthoogte en is de beginhoogte alleen afhankelijk van de magnitude. Hoewel deze vereenvoudigingen redelijk zijn, hebben de waarden in de tabel zo alleen een illustratieve waarde. He = 95 km, ; Hm = 100 km en Hb = 130 – 5*magn.

<i>Radiant hoogte boven de horizon</i>						
<i>Magnitude</i>	<i>H begin</i>	<i>15°</i>	<i>30°</i>	<i>45°</i>	<i>60°</i>	<i>75°</i>
+4	110	1.9	3.6	4.9	5.7	6.2
+2	120	1.0	2.1	2.8	3.4	3.7
0	130	0.7	1.4	2.0	2.4	2.6
-2	140	0.5	1.1	1.5	1.9	2.0
-4	150	0.4	0.9	1.2	1.5	1.7

Tabel 7: *achterwaartse verlenging voor meteoren in het zenit.*

Table 7: *Using the same model as in table 6, the relations between the distances from the radiant to the beginning of a meteor and its height are calculated.*

Tabel 7 geeft de verlengingsfactoren als verhoudingen tussen de afstand van radiant tot beginpunt van de meteor en zijn lengte voor verschillende magnituden en radianthoogten. Zoals te zien is, is ook hier zeer grote variatie mogelijk. In de praktijk zullen de lengten kleiner en de factoren groter zijn, omdat bij zenitsafstanden groter dan nul, in verband met de grotere afstand en de kwadratische verzwakking van de intensiteit, de meteor pas in een later stadium helder genoeg zal zijn om opgemerkt te worden. Gaat de waarnemer door onoplettendheid of grote DCV ook nog stukken van de meteor missen, dan zullen deze effecten nog sterker zijn en de factoren zeer veel groter worden (Zie voorbeeld situatie 3) omdat lengte en hoeksnelheid met elkaar evenredig zijn, is het natuurlijk heel goed mogelijk om direct uit de lengte van een meteor een schatting voor de radiantpositie op te geven. Is bij een bepaalde duur de meteor 'kort' (indicaties zijn hier net zo goed te rechtvaardigen als bij de hoeksnelheid zelf), dan houdt dit automatisch in, dat de meteor "traag" is en dus dicht bij de radiant is waargenomen. Je moet dan wel uit ervaring weten, wat bij voorbeeld voor een bepaalde magnitude een karakteristieke duur is. Ziet men voor de duur een andere waarde, dan kan men hieruit informatie halen voor de te schatten (daal)snelheid. Op dezelfde manier kan uit de lengte van een eventueel nalichtend spoor informatie gehaald worden.

Ook voor andere toepassingen kan een opgave voor lengte en duur interessant zijn. Zo gebeurt het bij het Opikken wel eens, dat een zeer heldere meteor door een groot gedeelte van de groep gemist wordt. Is door de andere waarnemers opgegeven dat hij "zeer kort" was, dan is het achteraf meteen duidelijk waarom sommige waarnemers deze meteor niet gezien hebben. Het tegenovergestelde gebeurt ook wel eens: een Tauride van magnitude +4 wordt door alle waarnemers gezien, omdat hij twee seconden lang zichtbaar was. Of de lengte als indicatie of in graden opgegeven werd, maakt hier niet zoveel uit. Binnen een groep heeft men vaak wel dezelfde ideeën over wat men lang of kort noemt, maar van groep tot groep kunnen de ideeën verschillen. Het is daarom aan te raden, om per groep een (ruwe) schaal met absolute waarden in graden af te spreken.

OORSPRONG PUNTEN EN -GEBIEDEN

Bij goed gebruik van de genoemde mogelijkheden, is het voorspellen van de radiantpositie van een enkele meteor helemaal niet zo'n hachelijke zaak meer als het altijd leek. Het is daarom helemaal niet zo onzinnig om bij elk meteorverschijning een soort geschatte radiantpositie als directe interpretatie van alle verzamelde gegevens aan de meteor mee te geven. De interpretatie van dat moment kan in nauwkeurigheid een interpretatie die achteraf gemaakt wordt, overtreffen.

Hoewel alle meteoren een radiant hebben (ook sporadischen), is het mede gezien de foutenmarges, onmogelijk een echt oorsprongpunt op te geven. Men kan beter spreken over een oorspronggebied. De breedte van dat gebied wordt bepaald door onzekerheden in de richting van de meteor; de lengte door onzekerheden in de radiantafstand. De lengte van het oorspronggebied wordt dus bepaald door de onzekerheid rond de eigen snelheid van de meteor en de mogelijkheid van een fout in de schattingen (zie fig. 4). Alleen bij zwermmeteoren kan er eventueel sprake zijn van een oorsprongpunt. We plaatsen dit punt dan op die plaats op het verlengde van het spoor, waar de afstand tot de radiant die we hadden verwacht het kleinst is. Op deze manier vinden we voor zo'n bekende zwerm een visuele straal van de radiant.

Bij intekeningen is een oorspronggebied gemakkelijk op de kaarten aan te geven. Weliswaar kan je dan waarschijnlijk minder meteoren per kaart intekenen, maar omdat het vooral gaat om sporadische meteoren, waarbij de oorspronggebiedjes netjes over de gehele kaart verdeeld zullen zijn, zal de wanorde beperkt kunnen blijven. Achteraf kan men bij het verwerken van de waarnemingen sneller zien of een bepaalde meteor bij een bepaalde radiant hoort en zo achteraf classificaties doen die in het veld waarschijnlijk niet opgevallen waren.

Bij het gebruik van een cassette recorder wordt het aangeven van dergelijke gebiedjes lastiger. Het opgeven van een soms ver vóór de meteor gelegen oorsprong verhoogt op die manier alleen de nauwkeurigheid van de richting van die meteor.

HOEKSNELHEID EN DAALSNELHEID LEVEREN UNIEKE KLASSIFIKATIE

Er is nog één probleem: in vergelijking (2a) is te zien, dat er bij een radiantafstand van 90 graden een maximale waarde optreedt voor de hoeksnelheid. Door de symmetrie van de sinusfunctie rond 90 graden, neemt de hoeksnelheid voor radiant afstanden groter dan 90 graden weer af. We komen dezelfde hoeksnelheid weer tegen bij :

$$RM_2 = 180^\circ - RM_1$$

We houden ons even bij het eenvoudige geval, dat het verlengde van de meteor door het zenit gaat. In fig. 1 is te zien, dat de lengte van de meteor "aan de andere kant van de hemel" weer afneemt, terwijl ze echt wel allemaal even lang zichtbaar zijn. Het probleem ligt nu bij het feit, dat wanneer je in het westen een meteor ziet, die met een bepaalde hoeksnelheid naar de horizon gaat, het net zo goed mogelijk is, dat die meteor uit een radiant komt die laag in het oosten staat als hoog in het westen. Kortom : Er zijn twee oplossingen.

Is de eigen werkelijke snelheid van de meteor onbekend (en dat is in de meeste situaties natuurlijk zo), dan is er sprake van een onbeperkt aantal oplossingen. Stelt men een bepaalde snelheid, dan vindt men met de geschatte daalsnelheid één radianthoogte en dus twee radiantposities. Neemt men een andere eigen-snelheid als uitgangspunt, dan vindt men bij diezelfde daalsnelheid twee andere posities. Kortom: De interpretatie van een meteor is niet uniek op grond van alleen zijn hoeksnelheid of alleen zijn daalsnelheid. Voor een bepaalde combinatie van hoeksnelheid en daalsnelheid is die interpretatie wel uniek. Oftewel : Ziet men een meteor en verlengt men de meteor naar achteren, dan is er op dat hele stuk maar één oplossing mogelijk, waarbij zowel de hoeksnelheid als de daalsnelheid voldoen aan de opgegeven waarde.

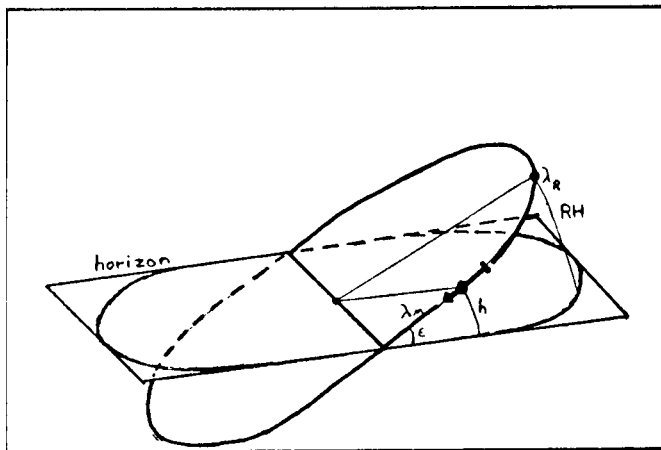


Figure 5 : The radiant will be found on the same great circle as the meteor moves along. ***Im*** and ***Ir*** are the longitudes of the meteor and the radiant respectively. ***ε*** is the inclination between the meteor path and the horizon. On the whole great circle before the beginning of the meteor and the horizon on the other side, there is only one solution for the position of the radiant which fulfils the estimates of the angular velocity and the speed of descending.

In fig. 5 is dit allemaal grafisch weergegeven. Meteoren bewegen zich over grootcirkels langs de hemel. De radiant ligt in ieder geval ook op deze grootcirkel, maar waar is nu nog niet bekend. Zien we een meteor op een bepaalde hoogte h onder de inclinatiehoek ϵ naar de horizon gaan, dan ligt de afstand λm vast: $\sin \lambda m = \sin h / \sin \epsilon$.

De maximale radianthoogte is gelijk aan ϵ . Hebben we waarden voor de hoeksnelheid ω en daalsnelheid V_d , dan kunnen we via vergelijking (4) de oplossing vinden voor de unieke waarde van λ_r :

$$V_d = \omega \times \pi/180 \times H \times \sin^{-1}(\lambda_r - \lambda_m) \times \sin(\lambda_r)/\sin(\lambda_m) \quad (4)$$

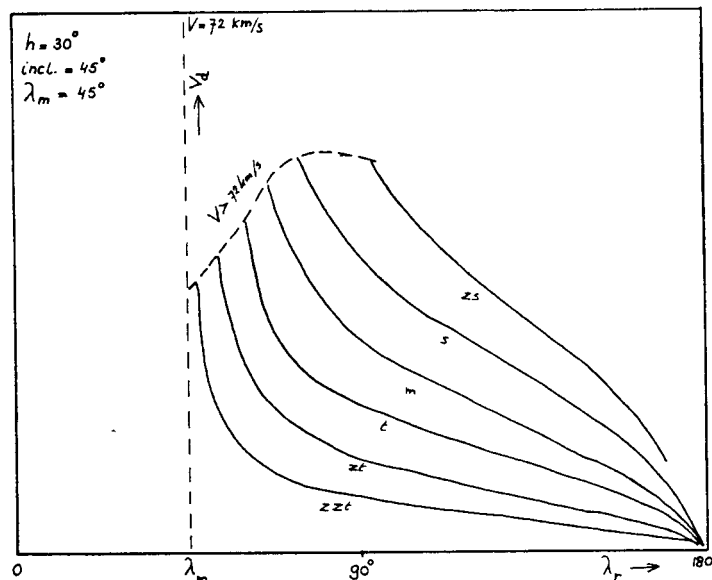


Figure 6 : The combination of the angular velocity and speed of descending defines an independent system. For the combination of the angular velocity and speed of descending there is only one possible combination for the position of the radiant and the geocentric velocity of the meteoroid. E.g. when an observer sees a very fast ('zs') meteor which has no well defined position of maximum intensity (a low value of $v \cdot \sin(RH)$) the meteor can only be seen at an enormous distance from the radiant.

Fig. 6 geeft een diagram, waarin voor een meteorhoogte van 30 graden en een inclinatie van 45 graden voor enkele hoeksnelheden voor alle vóór de meteor liggende waarden van λ_r de waarde van V_d berekend is. Duidelijk is te zien, dat er voor elke combinatie van hoeksnelheid en daalsnelheid een andere waarde voor λ_r geldt. De vorm van het diagram is voor andere hoogten en andere inclinaties vrijwel gelijk. De lijnen worden voor andere waarden van λ_m alleen wat verschoven en opgerekt.

Met deze wetenschap is het theoretisch mogelijk om exact de plaats van de radiant van een meteor te bepalen. Ziet men een snelle meteor op geringe hoogte recht op de horizon afgaan (fig. 1), dan zal bij een kleine daalsnelheid de radiantafstand zeer groot zijn. Alleen bij zeer trage meteoren kan de radiantafstand klein zijn.

In de praktijk heeft men natuurlijk weer te maken met schattingsfouten en onzekerheden en zal de radiant niet exact vast te stellen zijn. Bij de net genoemde zeer trage meteor kan de radiant afstand vrijwel alle waarden aannemen. De radiant is dan soms alleen nog vast te stellen met de hulp van het verloop in de helderheid (extrapolatie van magnitude: zie Intermezzo), de lengte en de duur.

De grootcirkels waarover de meteoren bewegen, lopen voor de helft onder de horizon verder. Wanneer je meteoren gaat waarnemen en je hebt de actieve radiant in de rug, dan is het handig om te weten, dat alle grootcirkels die bij die radiant horen, elkaar onder de horizon weer snijden. Alle meteoren van die zwerm gaan dus in de richting van dat punt. Ook een manier van classificeren!

WAT NU WEL EN WAT NIET TE DOEN IN HET VELD

Zoals in het voorgaande is opgemerkt, zijn de indicaties van hoeksnelheden op drie manieren zinvol te gebruiken. Voor andere toepassingen (Onder andere werkelijke hoogteen snelheidsbepalingen) zullen de indicaties te onnauwkeurig zijn. De hoeksnelheden moeten in dergelijke gevallen opgegeven worden in graden per seconde met een liefst zo klein mogelijke procentuele fout daarin. Ken jezelf! Ga dus niet van alle Perseïden de hoeksnelheden schatten of berekenen. De werkelijke hoogten, snelheden en radiantposities van de Perseïden zijn al lang met zeer hoge nauwkeurigheid bekend. Bovendien kan de waarnemer zijn tijd beter gebruiken. Gebruik de bekende zwermen, om je inzicht in de totale geometrie en de verdeling van hoeksnelheden over de gehele hemel te verbeteren. Train jezelf!

Heeft men van bekende zwermen de positie waar ze langs kwamen opgegeven, dan kan men altijd achteraf een prachtige snelheidsverdeling maken. Gebruik bij dit soort bekende zwermen de hoeksnelheden alleen maar als selectie criterium. Dit houdt natuurlijk wel in, dat wanneer men het veld ingaat, men van alle die nacht actieve zwermen naast de exacte radiantposities ook de eigen werkelijke snelheden moet kennen. Weet wat je te wachten staat!

Probeer bij sporadische meteoren wel de hoeksnelheid op te geven. Gebruik de relatieve indicatie om meteen een radiantpositie aan te geven en maak als het even kan een schatting voor duur, lengte en werkelijke snelheid. Ook wanneer je dit laatste te moeilijk vindt kan een vage indicatie voor de werkelijke snelheid al een middel zijn om te zien, waar je in tabel 5 moet kijken. De foutenmarges kunnen hierdoor al wat kleiner worden en zo ook de afmetingen van het oorspronggebied. Het is natuurlijk duidelijk, dat hoe zwakker een meteor is, hoe moeilijker dergelijke schattingen te maken zijn. De betrouwbaarheid zal bij de zwakke meteoren dan ook minder zijn. Bij heldere sporadische meteoren kunnen sommige zaken juist zeer goed ingeschat worden. In de praktijk zijn voorbeelden bekend van schattingen van snelheden die zeer goed overeen kwamen met fotografisch gemeten waarden. Maak er een gewoonte van, om vooral bij heldere sporadische meteoren deze schattingen niet te vergeten. Ze geven een completer beeld van de meteor.

Het is zelfs mogelijk om van een meteor die recht op je afkomt, een zogenaamde puntmeteor, een schatting van de eigen snelheid op te geven. De radiantpositie en -hoogte is exact bekend. Uit helderheidsverloop en duur volgt direct de eigen snelheid.

Bij zeer heldere meteoren of vuurbollen, die in een vroeg (zwak) stadium worden opgemerkt, is het mogelijk, dat je van die meteor ook de hoeksnelheid ziet toenemen. Zo zal de mooie Aquaride vuurbol van voorbeeld situatie 7 terwijl hij daalt van 150 naar 95 kilometer hoogte, in hoeksnelheid groeien van 4.6 graden/s. op 28 graden van de radiant tot 18.8 graden/s. in het zenit en tenslotte tot 20.4 graden/s. op zijn eind. Vergelijk deze situatie nog maar eens met het in de meteorenwereld bekende cliché van de in de verte verdwijnende spoorrails en schijnbaar steeds sneller naderende treinen met hoge eigen snelheid. Op foto's van zeer heldere vuurbollen kan zoiets vaak zeer goed worden waargenomen.

Zoals in de inleiding al gezegd is, is het punt van de maximale helderheid het meest kenmerkend voor de gehele meteor. Ook het eind is, vanwege zijn geringe afhankelijkheid van de waarnemer en geometrie, op die manier kenmerkend. Nu blijkt ook nog eens, dat voor dit stuk van het spoor de hoeksnelheid het minst varieert. Omdat we in het algemeen juist dit stuk van de meteor het best gezien zullen hebben, is het logisch, om voor dit stuk de schatting van de hoeksnelheid te doen.

Wat kun je nu doen, als je iets over de snelheid van een meteor wilt zeggen? (Er is niet echt sprake van een volgorde van handelingen, omdat alle te schatten facetten te sterk met elkaar vervlochten zijn):

- Maak in de eerste plaats onderscheid tussen de te beoordelen relatieve en absolute hoeksnelheid en daalsnelheid.
 - Kijk, of de hoeksnelheid veroorzaakt wordt door grote zenitsafstand en/of geringe radiant afstand of door een kleine werkelijke snelheid.
-

- Maak met behulp van de hoeksnelheid, daalsnelheid, lengte en magnitude, een schatting van de radiantpositie.
- Klasseer de meteor als zwermlid of als sporadische meteor.
- Maak met behulp van de radiant positie (en dus de radianthoogte) en daalsnelheid een schatting van de werkelijke snelheid.
- Realiseer je, dat de geometrische situatie soms vrij ondoorzichtig kan zijn. Druk de mate van vertrouwen die je in de gemaakte schattingen hebt uit in foutenmarges.

PERSOONLIJKE SCHAALVERDELINGEN

De absolute en relatieve schaalverdelingen die gegeven zijn in de tabellen 3 en 4, zijn volledig willekeurig. Iedereen kan voor zichzelf geheel andere schalen maken. In de praktijk gebeurt dit al. Er zijn waarnemers, die schalen gebruiken van "1" tot "S", waarbij ze zeggen dat "1" zeer traag betekent, en "S" zeer snel. En er zijn ook waarnemers, die bij zo'n zelfde soort schaal "1" zeer snel noemen en "S" zeer traag. Eventueel kunnen de schalen uitgebreid worden voor nog tragere meteoren resp. bv. 0.5 of 6. Het is niet eens noodzakelijk, dat er bij de gebruikte indicaties aan absolute waarden gedacht wordt. Voor de drie genoemde doelen zijn alle schalen (relatief of absoluut), mits consequent toegepast, bruikbaar. In alle andere gevallen waar men echt iets met de hoeksnelheden wil gaan berekenen, moeten de hoeksnelheden opgegeven worden in graden/s. Bij de daalsnelheid kunnen ook indicaties gebruikt worden, maar het is goed mogelijk om deze rechtstreeks in km/s te schatten, net als de werkelijke snelheid.

GEBRUIK BIJ FOTOGRAFIE

Tot slot nog een andere toepassing, want behalve voor visuele waarnemers, kan het bovenstaande ook voor de fotografie interessant zijn. Fotografisch materiaal is namelijk vrij gevoelig voor hoeksnelheden. Meteorfotografen hebben bij goed doorzichtige lucht de voorkeur om de camera's vlak boven de horizon te richten. In verband met het grote atmosferische volume dat ze daar bewaken, verwachten zij daar de meeste meteoren te vangen. Daar komt nu nog bij, dat de meteoren daar langzaam over de film zullen trekken. Zo zal bij een Perseïden radianthoogte van 40 graden, een meteor op 20 graden in het NO slechts met een snelheid van 4 graden/s. over de film trekken. In het ZW daarentegen zal een even hoge meteor met een snelheid van 10 graden/s. langs de hemel en over de film trekken. Dit betekent een verlies van een volle grensmagnitude en dus ook een twee tot driemaal kleinere pakkans. In het zenit verliezen we bij een hoeksnelheid van 26 graden/s. nog eens een volle grensmagnitude.

Een mogelijke andere toepassing is de volgende. Men heeft een meteor gefotografeerd en men heeft gebruik gemaakt van een sector. Men kan de hoeksnelheid van de meteor direct en zeer nauwkeurig opmeten. Vervolgens kan er op grond van de richting van de meteor of van een visuele waarneming geconcludeerd worden, dat het om een Perseïde gaat. Van Perseïden weten we, dat ze een eigen snelheid hebben van 60 km/s. Men kan dan uit één enkele foto de hoogte van een meteor bepalen (en zo misschien tot nog betere simultaanprognoses komen?) In ieder geval kan er zo met de enorme verzameling meteoren die slechts door één post gefotografeerd zijn, naast eventuele bepalingen van de radiantstraal, toch nog iets zinvol gedaan worden.

Het wordt pas echt interessant, wanneer men zich gaat realiseren, dat de opmerkingen in het Intermezzo ook bij fotografie een zinvolle betekenis kunnen hebben. De helling van het eerste deel van de lichtcurve is recht evenredig met de daalsnelheid, en zo, net de hele vorm van de lichtcurve een maat is voor de daalsnelheid.

$$d \text{ Magnitude} / dt = \alpha \times d Vd/dt = \alpha \times \sin (Rh) \times dV/dt$$

Kunnen we met PMT apparatuur of onderzoek aan het negatief zelf de lichtcurve opnemen en met een verbeterd model voor de meteoroïde in de atmosfeer een juiste fit krijgen, dan kan de daalsnelheid berekend worden. De combinatie van fototoestel (hoeksnelheid) en PMT (Daalsnelheid) beschikt dan over net zoveel informatie als een visuele waarnemer en moet theoretisch ook een oplossing kunnen geven voor de radiantpositie en de verhouding tussen de eigen geocentrische snelheden en de hoogte. Uit de laatste verhouding zijn met behulp van nog nauwkeuriger lichtcurves én atmosfeermodellen en wat fantasie beide factoren en verdere baanelementen te bepalen.

INTERMEZZO : ENGLISH SUMMARY

Some explanation is given about the physical and dynamical aspects of the meteor phenomenon. This theory was presented at the DMS Symposium in April 1986. Making use of an accurate real time model for collisions and transposition of energy, the increase and decrease of the magnitude of a meteor could be shown. The relation between magnitude and height of a meteor depends on the properties of the meteoroid itself and of the way it enters the atmosphere. In this article an extremely simplified model is used. The shape of the light curve in time can be used to estimate the value of $V \times \sin(RH)$, the actual descending speed.

De visuele tak van het meteoren waarnemen houdt zich vooral met twee zaken bezig: het classificeren van meteoren en het doen van tellingen. Tellingen leveren informatie voor allerlei te maken distributies, HR's en ZHR'S. Deze zijn alleen zinvol, als men ze per zwerm opmaakt. Het is daarom noodzakelijk, dat men van iedere meteor weet, tot welke zwerm hij behoort. Dit artikel in zijn geheel levert informatie die een hulp kan zijn bij het altijd moeilijke classificeren. Het is duidelijk, dat het daarbij van belang kan zijn, dat waarnemers zich realiseren, dat zij een proces bekijken, dat zich op grote hoogte boven hen afspeelt. In dit intermezzo volgen aan de hand van drie figuren enkele algemene kenmerken van dit proces.

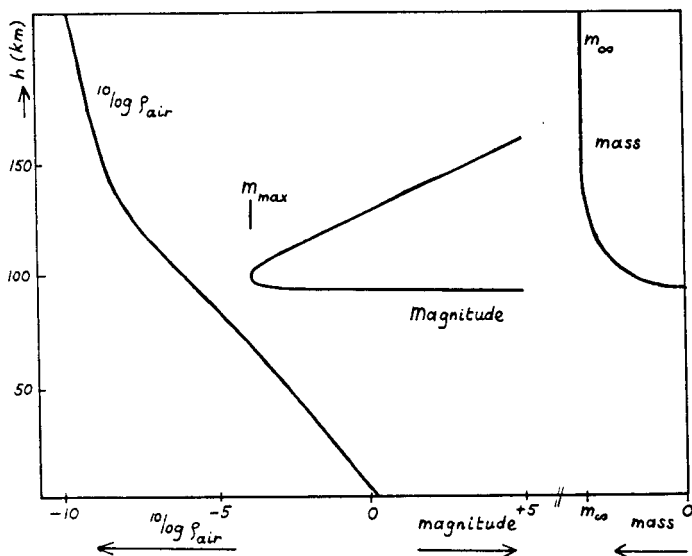


Figure I-1 : In this figure three lines representing the specific mass of the air, the magnitude of the meteor (both on a logarithmic scale) and the decreasing mass of the meteor as a function of the height in the atmosphere are plotted.

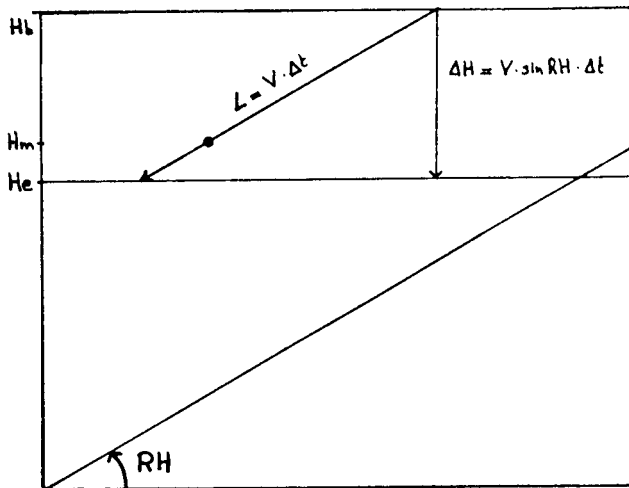


Figure I-2 : In the simplified model the magnitude of the meteor depends on its height in the atmosphere only. The speed of descending is proportional to the sinus of the elevation of the radiant. Using an estimation of the speed of descending and a known radiant position, the geocentric velocity can also be estimated.

Bekend is, dat het verschijnsel meteor wordt veroorzaakt door de confrontatie tussen meteoroïde en atmosfeer. Dat de meteor zijn karakteristieke helderheidsverloop krijgt, heeft zijn oorzaak in twee elkaar tegenwerkende processen. De helderheid van een meteor neemt toe, omdat de dichtheid van de atmosfeer steeds groter wordt, naarmate de meteoroïde geringere hoogten bereikt, waardoor de confrontatie steeds intenser wordt. En de helderheid neemt af, omdat de meteoroïde "oplost" in de atmosfeer, daardoor een steeds kleiner frontaal oppervlak krijgt waardoor vervolgens de confrontatie met de atmosfeer steeds minder intens wordt. Omdat aan het begin van het proces de eerste oorzaak overheerst en aan het eind de tweede, krijgt de meteor het bekende helderheidsverloop: eerst tot een bepaald maximum een toename van de helderheid en daarna een zeer snelle afname van de helderheid tot volledige uitdoving. De maximaal behaalde magnitude wordt nu "de magnitude van de meteor" genoemd. Opvallend is, dat de helderheidstoename uitgedrukt in magnituden, vrijwel lineair is.

De werkelijke hoogten van begin, maximale helderheid en einde zijn vooral afhankelijk van de intredesnelheid en de materiaaleigenschappen van de meteoroïde. Hoe sneller de meteor, hoe eerder de intensiteit van de confrontatie voldoende is om een zichtbare hoeveelheid licht uit te stralen en dus hoe hoger we de meteor zien beginnen. Ook het eindpunt van de meteor zal hoger liggen omdat door de intensievere confrontatie de meteoroïde eerder zal zijn opgelost. Verder hangen de hoogten nog af van de intredemassa, die de uiteindelijke maximale magnitude bepaalt en de intredehoek, die gelijk is aan de radianthoogte. Behalve de verschillen in beginhoogte voor verschillende uiteindelijke magnituden en eventuele verschillen in hoogten tussen bijvoorbeeld Orioniden en Tauriden, zijn de andere verschillen minimaal en dus voor ons doel onbelangrijk. Het is daarom heel goed mogelijk een sterk vereenvoudigd model te gebruiken, waarbij we stellen, dat de hoogte van maximale helderheid en einde in alle situaties constant zijn, en dat de beginhoogte alleen afhankelijk is van de magnitude.

In dit model is het werkelijk afgelegde hoogteverschil ΔH tussen begin- en eindpunt alleen afhankelijk van de magnitude. Voor de werkelijk afgelegde weg geldt dan : $L = \Delta H / \sin(RH)$, zodat we voor de duur van een meteor vinden : $T = L / V = \Delta H / (V \sin(RH))$.

In fig. I-3 zien we, wat de invloed is van het product $V \cdot \sin(RH)$ -de werkelijke daalsnelheid- op het waar te nemen helderheidsverloop van de meteor. Hoe groter het product, hoe steiler de lichtcurve en hoe duidelijker er sprake is van een punt van maximale helderheid, en hoe kleiner het product, hoe langer de "flits" duurt en hoe minder er sprake is van een punt van maximale helderheid.

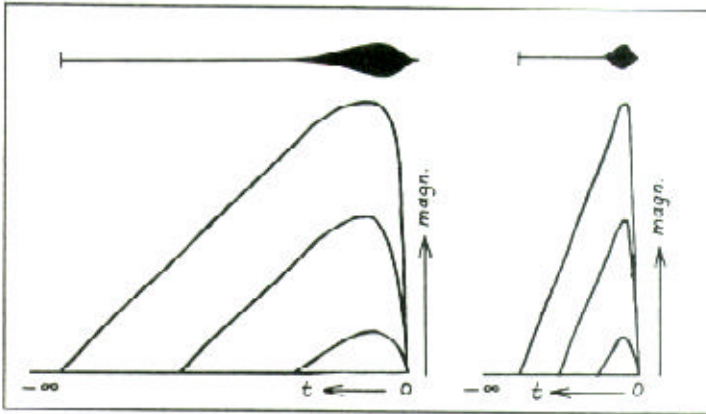


Figure I-3 : For two values of $V \cdot \sin(RH)$ and for three magnitudes the shape of the light curves (logarithmic magnitude curves; linear at the top) are calculated. The slope at the beginning and the 'duration of the maximum' are both a measure for the product $V \cdot \sin(RH)$. The lifetime of a meteoroid ends at $t=0$. If a meteor is a very faint one it will be clear that it is difficult to apply to the theory.

Vergelijk nog eens de voorbeeldsituaties 3 en S. Omdat de daalsnelheid van twee factoren afhangt hoeft een meteor die enkele seconden zichtbaar is, lang niet altijd in werkelijkheid traag te zijn. Bij een lage radiant heeft zo'n meteor toch een redelijke hoeksnelheid en kan de lengte van de meteor zeer groot zijn. Sommige van deze aardscheerders zullen over de gehele lengte vrijwel dezelfde helderheid kunnen houden. Wanneer we spreken over het interpreteren van een meteor, moeten we dit niet al te zwaar opvatten. Het is de bedoeling, dat men een meteor niet alleen maar ziet als een projectie tussen de sterren op de achtergrond. Ook al kan er niet werkelijk sprake zijn van een stereoscopische beleving, toch kan de geest van de waarnemer een drie-dimensionaal beeld krijgen van een meteor. Maar men moet er wel wat voor doen! Het bewust zijn van bepaalde situaties kenmerkt dan ook de ervaring van de waarnemer. We kennen allemaal het voorbeeld van de geïnteresseerde leek, die iets gezien heeft, wat volgens ons een meteor moet zijn geweest, maar volgens hem geen "vallende" ster geweest kan zijn, omdat het ding vanaf de horizon "omhoog" ging.

Ook het interpreteren van het helderheidsverloop moet men niet te zwaar zien. Men hoeft echt niet over PMT of PJM-ogen te beschikken, om te kunnen zien of een meteor snel of langzaam (in de tijd) van helderheid verandert. Ziet men bij voorbeeld bijna niet, dat de helderheid van een meteor verandert, dan is de werkelijke daalsnelheid waarschijnlijk klein, wat dus kan duiden op een kleine werkelijke snelheid of een geringe radianthoogte. Maar het kan ook heel goed zijn, dat je alleen maar het helderste deel van een meteor gezien hebt. Dit laatste is natuurlijk vooral het geval bij zwakke meteoren. Het ontbrekende deel is vanwege de beperkte grensmagnitude van het oog onzichtbaar. Zo kan het ook voorkomen, dat een waarnemer opgeeft, dat hij een duidelijke flare gezien heeft, en dat daar op een foto van diezelfde meteor niets van terug te vinden is. Op de foto (grensmagnitude ca. 0) blijkt alleen maar het helderste deel te zijn vastgelegd.

Tot slot nog een vergelijking voor de relatie tussen magnitude en hoogte: Zien we een meteor, wanneer zijn helderheid groter is dan M_{min} (bv. $M_{min} = +5$) dan kunnen we de beginhoogte H_b en de eindhoogte H_e vaststellen; de maximale helderheid wordt bereikt op een hoogte H_{max} .

$$\text{Magn.} = M(H) = M_{\min} + (M_{\max} - M_{\min}) \cdot \sin \pi \left[\frac{H_m - H_e}{H_b - H_e} \right]^k$$

$$\text{met } k = \frac{-\ln 2}{\ln \left(\frac{H_m - H_e}{H_b - H_e} \right)}$$

Wetende, dat de helderheid van een meteor van "begin" tot vlak voor het punt van maximale helderheid lineair in magnitude toeneemt, kunnen we als we niet het hele spoor gezien hebben, soms een extrapolatie doen en het punt vinden, waar de meteor een beginmagnitude van 5 of 6 zou hebben gehad.

REFERENTIES

- 1) McNally, D.: Positional Astronomy. Muller Educational. London, 1974.
 - 2) Diverse Waarnemingshandleidingen.
 - 3) Diverse Actieoproepen in Radiant.
 - 4) Veen, P.v.d. : Computersimulaties van meteoren. Lezing op het 7e DMS Symposium. April 1986, Bussloo.
-